

CONTROL INTELIGENTE DE SEGUIDOR SOLAR UTILIZANDO LA TECNICA DE LOGICA DIFUSA O BORROSA

D, Hoyos; H. Bárcena; R. Echazú; C. Cadena; R. Farfán

Facultad de Ciencias Exactas – INENCO - CIUNSA

Universidad Nacional de Salta

Av. Bolivia 5150. Salta. Argentina

++54 387 4255424 - e-mail: hoyosd@unsa.edu.ar ; barcenah@unsa.edu.ar

RESUMEN: El presente trabajo tiene como objetivo el diseño, puesta a punto y ejecución de un controlador automático inteligente utilizando la técnica del control borroso para un sistema seguidor para concentradores solares. El mismo se realizó utilizando un microcontrolador 16F873 y la energía para realizar el movimiento la provee un sistema de pesas. El funcionamiento del sistema es bueno y presenta una gran performance en lo que a seguimiento del sol se refiere.

Palabras clave: energía solar, concentradores, control, microcontroladores

INTRODUCCION

Las cocinas solares y otros equipos que cuentan con concentradores de radiación solar, solo funcionan adecuadamente (es decir obteniendo siempre el máximo de potencia) con su eje orientado permanentemente hacia sol, por lo que requieren un montaje que permita el movimiento sobre dos ejes. La orientación del concentrador siguiendo al sol se realiza por movimiento del mismo sobre dos ejes. El movimiento principal se encuentra en el plano del meridiano del lugar, formando con la horizontal un ángulo igual a la latitud. La rotación sobre este eje a 15 grados por hora compensa el movimiento de rotación terrestre. La rotación sobre el eje secundario, perpendicular al anterior permite ajustar la orientación a la variación estacional de la altura solar. Para los concentradores de cocinas solares y otros sistemas de conversión térmica, es suficiente realizar este ajuste mediante un período de aproximadamente 15 días.

Para el movimiento de concentradores solares u otras aplicaciones, se han empleado diversos sistemas mecánicos y/o electromecánicos. Una primera clasificación permite distinguir entre sistemas de seguimiento y de sincronismo. En los primeros, por medio de sensores de radiación, se modifica periódicamente la orientación en función de la posición del sol; y en los segundos, el concentrador rota en forma continua o por ajustes periódicos, controlado por un reloj. Ambas soluciones en forma individual tienen sus problemas y fue la decisión de abocarse a esto con el objetivo de encontrar una solución. Si se analiza las causas por las cuales puede haber una desincronización en el seguimiento del sol, se tiene por un lado que las pequeñas deformaciones que pudieran tener los engranajes del sistema mecánico, produciría un desenfoque del sistema respecto de la posición óptima, lo cual traería como consecuencia una disminución de la energía a colectar, respecto de la máxima energía colectada que se obtendría si el sistema estuviera perfectamente orientado hacia el sol, y para evitar este problema la calidad del sistema mecánico debería ser altísima, lo cual implicaría un precio muy elevado (Echazú, et, al, 1998); por otro lado también se tiene que para el sistema de seguimiento, la presencia de una nube afecta considerablemente la performance del sistema. En este trabajo se propone una combinación de ambas estrategias de control con la finalidad de solucionar en forma independiente ambos problemas.



***Figura 1:** Foto del sistema posicionador*

Parcialmente financiado por el Consejo de Investigación de la Universidad Nacional de Salta

El trabajo está motivado porque el seguidor es difícil de controlar en forma satisfactoria empleando las técnicas convencionales de control automático. Esta dificultad se debe a distintas causas, principalmente a no-linealidades en el sistema a controlar, comportamiento variable en el tiempo y debido a que con los controladores automáticos existentes (sensores de tipo óptico) tienen problemas en caso de aparecer nubosidades en el ambiente, entonces el planteo y diseño de este nuevo seguidor inteligente; manejado por un integrado (PIC 16F873) viene a suplir estas dificultades. Con el ánimo de emular aceptablemente lo que haría un operador humano durante el transcurso del día siguiendo la trayectoria del sol, para de esta forma obtener un máximo rendimiento de los concentradores, surgió naturalmente la idea de construir este controlador automático de inteligencia artificial. La mayor dificultad en el diseño de estos controladores, consiste en obtener, representar y manipular en forma cuantitativa el conocimiento que el operador posee sobre el sistema (por ejemplo en que momento lo movería el operador para obtener siempre el máximo rendimiento) y la forma de controlarlo. El diseño de este nuevo seguidor emplea una estrategia basada en la intuición y la experiencia y puede ser considerada como un conjunto de reglas con las cuales él toma una decisión.

El sistema de seguimiento está compuesto por dos partes muy bien determinadas. Uno es el mecanismo o sistema mecánico, el cual es el encargado de suministrar la energía necesaria para realizar el movimiento del sistema, y el otro es el control electrónico, encargado de sincronizar el movimiento del concentrador con respecto del movimiento de la tierra respecto del sol.

Se construyeron distintos sistemas realimentados que median la radiación (Cadena, et. Al, 2002) mediante un sistema óptico compuesto por dos sensores de radiación (LDR). El funcionamiento del mismo consiste en que cuando la tierra gira un cierto ángulo sobre su eje, el sistema a mover se desenfoca respecto del sol, y uno de los sensores comienza a sombreadarse, lo cual produce un desequilibrio en el puente, esta señal descompensada realimenta al sistema eléctrico y hace que arranque el motor, el mismo se encuentra accionado hasta que el puente se equilibra nuevamente, es decir hasta que los dos sensores quedan igualmente iluminados. Este sistema tiene como contrapartida que al pasar una nube el sistema pierde orientación y no la puede recuperar, de esta situación surge la propuesta de este trabajo que consiste en interrelacionar ambos sistemas utilizando técnicas de lógica difusa y la tecnología disponible de microcontroladores.

ANÁLISIS DEL ALGORITMO DE CONTROL

En la figura 2a se puede observar el circuito encargado de generar las señales para seguir al sol, el mismo consiste en un puente formado por dos LDR y dos resistencias iguales entre sí. En la figura 2b se esquematiza como se obtendrían las distintas tensiones en el puente para tres posiciones relativas distintas del sol respecto de los dos sensores. En la posición (i) el sol ilumina al sensor 1 y el sensor 2 está prácticamente a oscuras, entonces la tensión V_1 es aproximadamente igual a V_{cc} y la tensión V_2 es casi 0, por lo tanto este desequilibrio genera una señal que será enviada al circuito de control el que accionará un mecanismo para hacer rotar al sistema hasta que los dos sensores queden igualmente iluminados, es decir hasta que se produzca el equilibrio del puente. En la posición (ii) el sol ilumina igualmente a los dos sensores, el puente se encuentra equilibrado por lo tanto no se genera ningún tipo de señal que trate de accionar al mecanismo de seguimiento. En la posición (iii) ocurre lo mismo que en la posición (i), con la diferencia que lo que ocurría en el sensor 1 ahora ocurre en el sensor 2 y viceversa. En la figura 3 se encuentran las señales obtenidas a la salida del puente en V_1 y V_2 .

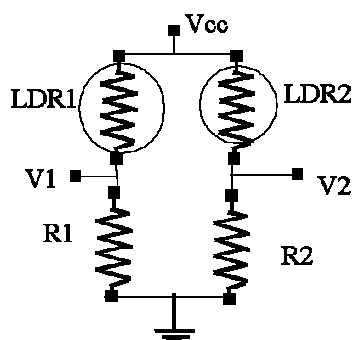


Figura 2a: Sensor de iluminación

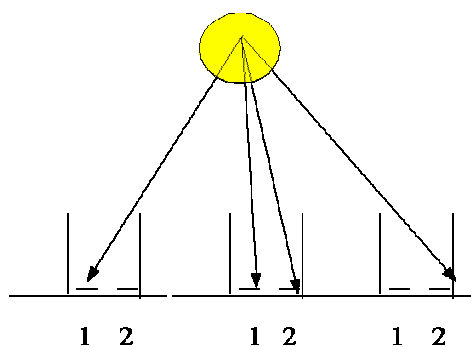


Figura 2b: Representación de tres situaciones distintas

Al moverse la tierra respecto del sol siempre en el mismo sentido, su dirección está determinada; al ser el movimiento por pasos se debe determinar en que momento realizar el paso siguiente, y es con este objetivo que se propone una estrategia de control basada en la lógica difusa. Se definen cuatro conjuntos difusos y son los siguientes: Sensor1_bajo, sensor1_alto, sensor2_bajo, sensor2_alto. En la figura 4 se muestra la definición de los conjuntos difusos asociados al sensor 1, la definición del conjunto difuso 2 es igual y está representado en la misma figura. El movimiento se debe realizar cuando el sensor 1 está iluminado y el sensor 2 no lo está, esto indicaría que el sistema se encuentra desenfocado, en la dirección del movimiento. Entonces realizando la operación lógica difusa, intersección entre los conjuntos difusos sensor1_alto y sensor2_bajo, se puede determinar la situación en la que se realice el disparo. La función intersección en lógica difusa, elige como valor del nuevo conjunto difuso el menor valor de los dos. El proceso de desfuzzificación consiste en disparar cuando las cuentas del conjunto intersección superan los 128.

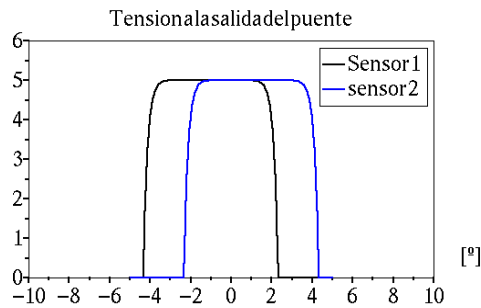


Figura 3: Curva de respuesta de los sensores

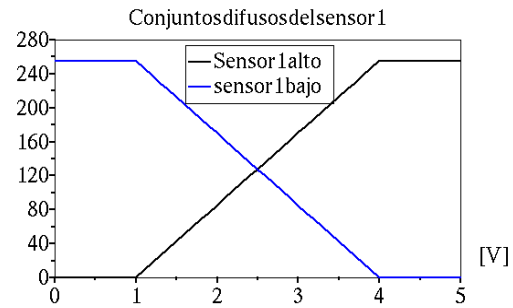


Figura 4: Conjuntos difusos sensor 1

EL MECANISMO

El movimiento del equipo siguiendo al sol se realiza sobre dos ejes. El eje principal se encuentra sobre el plano del meridiano del lugar, inclinado sobre la horizontal con un ángulo igual a la latitud. La rotación sobre este eje con una velocidad de 15 grados por hora compensa el movimiento de rotación terrestre.

La rotación sobre el eje secundario, perpendicular al anterior, permite ajustar la orientación compensando la variación estacional de la altura solar. Para la generalidad de las aplicaciones es suficiente realizar este ajuste con una periodicidad de aproximadamente 15 días.

El mecanismo que se muestra en la figura 5, se construyó empleando piezas de repuestos de bicicleta, como ser piñones y ejes; una media corona de arranque de un auto de bajo porte (reciclada) y recortes de caños y planchuelas de hierro.

El movimiento es impulsado debido a la fuerza de origen gravitatoria, a través del descenso de una pesa que pende de una cuerda que se encuentra enrollada en un eje trasero de bicicleta. La rotación de este eje, en el cual se encuentra adosada una pieza de acero de forma helicoidal (en verde en la figura), quien luego se engrana con los dientes de la media corona, es el encargado de provocar la rotación del eje principal.

También en el eje de la bicicleta se colocó un piñón (de color azul en la figura). Una pieza de acero similar al ánclora de los relojes de cuerda limita la rotación continua del piñón, esta pieza (de color rojo) tiene una posición de descanso como la indicada en la figura, mantenida por un resorte.

En el instante en que se ejerce brevemente una tensión en la dirección de T, el ánclora baja y vuelve a subir liberando un diente del piñón, con lo cual el eje avanza el ángulo correspondiente. Esta acción de fuerza sobre la cuerda unida al ánclora la realiza el circuito electrónico por medio de un solenoide.

El eje principal debe dar una vuelta en 24 horas o sea 86400 segundos. Si la corona de arranque tiene 94 dientes y el piñón 24, la acción sobre T debe suceder cada $86400 / (24 \times 94) = 38,3$ segundos aproximadamente.

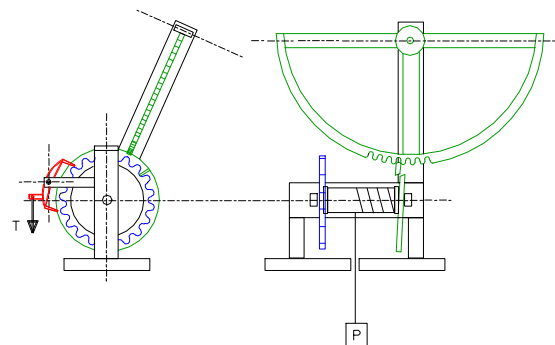


Figura 5: Sistema mecánico

El sistema mecánico descrito anteriormente implica que se debe aplicar una tensión cada vez que el dispositivo se desenfoca o sea cada vez que la tensión V1 sea mayor que la tensión V2 y debe esperar luego hasta el momento que V1 sea mayor que V2, siempre que; como se expresó anteriormente; el promedio sea mayor que un determinado valor. El tiempo transcurrido entre dos disparos debe ser conservado y en el caso que el promedio sea bajo se debe utilizar este tiempo hasta que se restablezca el sistema.

Para registrar la acción del circuito de control, se montó sobre el mecanismo de disparo de la rueda dentada, un pequeño interruptor que es accionado por la misma palanca cada vez que ésta se mueve. El interruptor se conectó a un teclado de una

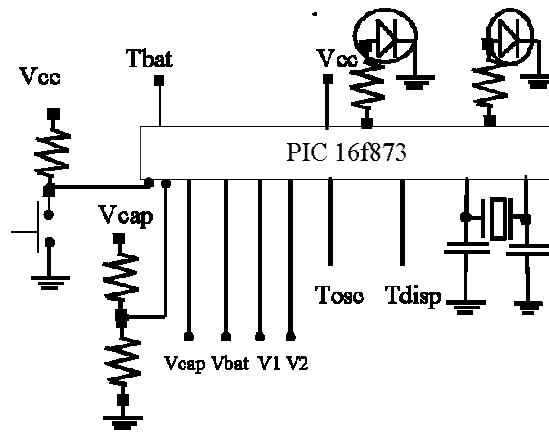


Figura 8: Circuito de control

PROGRAMA DE CONTROL

El programa de control de este sistema debe realizar distintas acciones:

1. Cargar el condensador a una tensión de 60 V
2. Mantener la batería cargada a través del panel fotovoltaico
3. Mover el pestillo cuando sea necesario.

El programa principal activa las distintas subrutinas con un periodo determinado, con este fin se utiliza la interrupción que se activa al rebalsarse el contador TMR0 para obtener un intervalo de tiempo constante de 0.20 ms y a partir del mismo se determinan los periodos de 1 seg y 38 s.

Control de carga del condensador

Para cargar el condensador se utiliza la señal de 0.2 ms para generar una onda de 0.4 ms de periodo sobre Toso que carga el condensador. Se mide la tensión Vcap y cuando ésta alcanza los 2.5 V que representan los 60 V del condensador y 128 en cuentas, se detiene la carga colocando Toso a cero.

Control Batería

Para mantener la tensión de la batería en rangos adecuados se realiza un control cada 0.2 ms midiendo la tensión Vbat, cuando esa tensión supera los 2.5V que representan 14,1V en los bornes de la batería y 128 en cuentas la señal Tbat es puesta a cero y en caso contrario es puesta a uno.

Control del Pestillo

Este control se activa cada 1 segundo verificando el estado del sistema. Este tiempo se determinó en función del tiempo de respuesta mecánica del sistema y de la respuesta del sensor LDR. Se toman las señales V1 y V2 y se fusifican para transformarse en sensor_1_alto y sensor_2_bajo, se realiza la operación intersección entre dos conjuntos difusos. La cual consiste en elegir el menor entre los dos valores. Este valor se compara con 128 y si es mayor se realiza un disparo, luego se guarda el tiempo transcurrido en segundos entre un disparo y el anterior y se promedia con los valores anteriores. Si no se produce un disparo en ese tiempo mas diez segundos, el sistema se dispara solo.



Figura 9: Sistema de control

En la figura 9 se puede observar el sistema de control completo instalado en el posicionador.

CONCLUSIONES

El sistema electrónico de control fue analizado en días sin nubosidad, y para esta situación la curva de respuesta obtenida es lineal, pero se le suma una componente constante de aproximadamente 6° , lo cual hace que el rendimiento disminuya durante todo el día de forma constante. La solución a este problema, sería que el sensor óptico este desplazado aproximadamente 6° en dirección opuesta al sentido de giro con respecto al concentrador. En cuanto al sistema óptico, también existen dificultades, pero son de tipo constructivo, en el sentido que se debe optimizar la longitud del tubo donde se encuentran alojados los LDR. En cuanto a la longitud actual del tubo se observó que tiene poca sensibilidad, aproximadamente 6° , es decir que para sombrear uno de los LDR debe haber un ángulo de giro relativamente grande. La batería de 3 AH, de muy pequeñas dimensiones geométricas cubre perfectamente las necesidades para la carga del capacitor. La energía que puede entregar la batería suponiendo una profundidad de descarga del 30%, es de 38.800 Joule, y teniendo en cuenta que el consumo diario es de aproximadamente 2600 Joule, se concluye que el sistema puede operar en forma independiente 14 días.

REFERENCIAS

- Hession P.J y Bonwick W.J. Experience with a sun tracker system. Solar energy 34, 7, 3-11
- Nicolás J.J. (1979) Sistema de localización y seguimiento del foco de un concentrador solar. Asociación Argentina de Energía Solar. Vol ..., 113-123.
- Echazú R y Cadena C. (1998). Mecanismo de seguimiento para cocinas solares. AVERMA 2, pp, 261
- Cadena C., Bárcena H. y otros(2002). Sistema de seguimiento para cocinas solares alimentado por módulo. Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol 6, 37-42.

ABSTRACT

This paper presents the design and implementation of an intelligent automatic controller that applies fuzzy logic technique in a tracking system for solar concentrators. The intelligent system uses a microcontroller PIC 16F873 and the mechanical energy is provided by a weight system.

Keywords: solar energy, concentrators, control, Microcontrollers.